

Procédé de régulation de la puissance de transmission au sein  
d'un réseau de communication sans fil.

L'invention a trait au domaine des réseaux sans fil, composés d'une pluralité d'entités qui communiquent entre elles, par exemple par voie hertzienne.

Plus précisément, l'invention concerne un procédé de régulation de la puissance d'émission - également appelée puissance de transmission - des entités du réseau. Elle concerne également une unité de communication sans fil destinée à former une entité d'un tel réseau.

L'invention s'applique tout particulièrement aux réseaux *ad hoc*, c'est-à-dire aux réseaux qui ne comportent aucune infrastructure préexistante nécessaire à l'émission des données d'une entité à une autre.

Rappelons que, dans le domaine des ondes hertziennes, tout signal transmis par une entité émettrice à une entité destinatrice est soumis à une atténuation proportionnelle à une puissance de la distance séparant ces entités (en pratique, cette puissance est comprise entre 2 et 6).

C'est pourquoi la puissance de transmission de l'entité émettrice doit être suffisante pour que le signal parvienne effectivement à l'entité destinatrice.

Il n'est toutefois pas nécessaire que le signal parvienne directement à l'entité destinatrice (on parle dans ce cas d'émission directe) : il peut en effet transiter par une entité tierce du réseau, appelée « nœud intermédiaire » ou « nœud routeur » (on parle alors d'émission indirecte).

Il est à noter que, dans un réseau *ad hoc*, chaque entité peut alternativement jouer les rôles d'entité émettrice, d'entité destinatrice ou de nœud intermédiaire.

Afin d'assurer la connexité du réseau, c'est-à-dire garantir que, quelles que soient les entités émettrice et destinatrice, il existe toujours un chemin permettant la délivrance à l'entité réceptrice du message en provenance de l'entité émettrice, il apparaît nécessaire que chaque entité émettrice du réseau ait

connaissance de la localisation de ses entités voisines, et réciproquement.

On nomme entité voisine d'une entité émettrice toute entité dont l'entité émettrice est suffisamment  
5 proche pour recevoir un signal direct.

A chaque entité émettrice du réseau correspond une zone d'émission, dont le rayon est fonction de la puissance de transmission de cette entité.

De nombreux protocoles de communication, peu  
10 soucieux d'économie d'énergie, prévoient que la puissance de transmission de toute entité émettrice soit systématiquement réglée à sa valeur maximale.

Si de tels protocoles assurent en général la connexité du réseau, ils impliquent toutefois une  
15 consommation d'énergie importante, qui s'effectue au détriment de l'autonomie de chaque entité du réseau.

Dans un souci d'économie d'énergie visant à augmenter l'autonomie des entités, on souhaite donc réduire autant que possible la puissance de transmission  
20 des entités du réseau tout en en assurant la connexité de ce dernier.

Il existe bien des protocoles de communication qui proposent de moduler la puissance de transmission d'une entité donnée en fonction de la topologie de son voisinage  
25 (voir par exemple la demande internationale publiée sous le numéro WO 02/03567).

Mais le protocole employé est relativement complexe et requiert des mémoires ainsi que des algorithmes imposants qui grèvent les coûts et entravent  
30 le bon fonctionnement du réseau.

L'invention vise notamment à résoudre les inconvénients précités en proposant, entre autres objets, un procédé de régulation de la puissance de transmission d'une entité émettrice au sein d'un réseau de  
35 communication sans fil qui permette, de manière simple et efficace, de limiter la consommation d'énergie au sein du

réseau tout en garantissant la connexité de celui-ci.

A cet effet, l'invention propose, selon un premier objet, un procédé de régulation de la puissance d'une unité émettrice dans un réseau d'entités communicantes sans fil, comportant les étapes consistant à :

- identifier les entités voisines de l'entité émettrice, c'est-à-dire les entités du réseau, distinctes de l'entité émettrice, dont l'entité émettrice (e) est apte à recevoir les messages ;
- 10 - parmi les entités voisines, identifier une constellation minimale associée à l'entité émettrice, c'est-à-dire, quantitativement, le plus petit ensemble d'entités voisines de l'entité émettrice incluses dans un cercle centré sur celle-ci, et dont trois au moins d'entre  
15 elles forment un polygone convexe circonscrivant l'entité émettrice ;
- parmi les entités voisines n'appartenant pas à la constellation minimale, identifier le cas échéant les entités, dites périphériques, dont la propre constellation  
20 minimale inclut l'entité émettrice ;
- régler la puissance de transmission de l'entité émettrice à une valeur minimale permettant aux messages émis par l'entité émettrice (e) d'atteindre à la fois les entités de la constellation minimale associée à l'entité  
25 émettrice et les entités périphériques identifiées.

Ce procédé, appliqué à chacune des entités d'un réseau sans fil, permet d'en garantir la connexité tout en limitant la puissance consommée.

Suivant un mode de réalisation, après avoir réglé sa puissance de transmission, l'entité émettrice  
30 communique à chacune des entités voisines un message comprenant un identifiant associé à ladite entité émettrice, la position de l'entité émettrice et sa distance minimale d'émission, c'est-à-dire le rayon du

plus petit cercle, centré sur l'entité émettrice, incluant la constellation minimale associée à l'entité émettrice.

L'identification des entités voisines consiste par exemple à mémoriser dans une première table, pour chaque entité voisine, un identifiant associé à cette entité, la position de cette entité ainsi que sa distance minimale d'émission, c'est-à-dire le rayon du plus petit cercle, centré sur cette entité voisine, incluant la constellation minimale associée à cette entité voisine.

De préférence, chaque entité voisine communique à l'entité émettrice un message comprenant son identifiant, sa position et sa distance minimale d'émission.

Par ailleurs, l'identification des entités appartenant à la constellation minimale associée à l'entité émettrice peut comprendre une étape consistant à mémoriser dans une deuxième table, pour chaque entité voisine appartenant à la constellation minimale, son identifiant, sa position et sa distance minimale d'émission, tandis que l'identification des entités périphériques comprend par exemple une étape consistant à mémoriser dans une troisième table, pour chacune de ces entités, son identifiant, sa position et sa distance minimale d'émission.

Quant au réglage de la puissance de transmission, il peut comprendre une étape consistant à sélectionner soit la plus grande des distances séparant l'entité émettrice des entités de la troisième table soit, lorsque cette troisième table est vide, la plus grande des distances séparant l'entité émettrice des entités de la deuxième table, le réglage de la puissance étant effectué de manière à adapter la portée d'émission à la distance sélectionnée.

Le procédé décrit ci-dessus peut en outre comprendre les étapes supplémentaires selon lesquelles, après avoir réglé sa puissance de transmission :

- l'entité émettrice communique à chacune des entités voisines un message comprenant son identifiant, sa position et sa distance minimale d'émission,
- les tables sont vidées.

5           Suivant un second objet, l'invention propose également une unité de communication sans fil destinée à former une entité d'un réseau d'entités communicantes sans fil, comprenant : -

10           - des moyens pour identifier des entités voisines de ladite unité, c'est-à-dire les entités du réseau, distinctes de ladite unité de communication, dont cette dernière est apte à recevoir les messages ;

15           - des moyens pour identifier une constellation minimale associée à ladite unité de communication, c'est-à-dire, quantitativement, le plus petit ensemble d'entités voisines de ladite unité de communication incluses dans un cercle centré sur celle-ci, et dont trois au moins d'entre elles forment un polygone convexe circonscrivant ladite unité de communication ;

20           - des moyens pour identifier le cas échéant, parmi les entités voisines n'appartenant pas à la constellation minimale, les entités, dites périphériques, dont la propre constellation minimale inclut ladite unité ; et

25           - des moyens de réglage de la puissance de transmission de ladite unité de communication à une valeur minimale permettant aux messages émis par l'unité de communication d'atteindre à la fois les entités de la constellation minimale associée à ladite unité de communication et les entités périphériques identifiées.

30           D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

35           - la figure 1 est un schéma représentant au moins partiellement un réseau comprenant un nombre



relativement restreint d'entités communicantes sans fil ;

- la figure 2 est un schéma illustrant la topologie du réseau de la figure 1, sur lequel les entités sont représentées sous la forme de nœuds ;

5 - les figures 3a et 3b constituent ensemble un diagramme illustrant les différentes étapes du procédé de régulation de la puissance de transmission d'une entité communicante du réseau ; et

- la figure 4 est un schéma représentant au moins partiellement un réseau comprenant un grand nombre d'entités communicantes sans fil.

Sur la figure 1 est partiellement représenté un réseau 1 local sans fil interconnecté. Il s'agit par exemple d'un réseau hertzien de type *ad hoc* conforme à la norme de communication radioélectrique IEEE 802.11b, surnommée Wi-Fi (Wireless Fidelity).

Le réseau 1 comporte une pluralité d'entités dont on a représenté trois téléphones mobiles 2, 3, 4, trois ordinateurs 5, 6, 7 équipés de modems Wi-Fi ainsi qu'une télécommande hertzienne 8.

La figure 2 illustre la topologie du réseau 1, les entités 2 à 7 y étant représentées sous la forme de nœuds auxquels sont attribuées respectivement les lettres e, B, D, A, E, F, C.

25 Dans cet exemple, l'ordre alphabétique selon lequel les nœuds A à F sont classés correspond à un éloignement croissant du nœud émetteur e.

Chaque entité 2 à 8 est équipée d'un système de communication sans fil dont la puissance d'émission (également appelée puissance de transmission) est réglable.

La zone d'émission ou de transmission du nœud e est définie comme la partie de l'espace où un nœud récepteur est (ou serait) apte à recevoir les signaux émis depuis le nœud e.

En théorie, la zone de transmission est une sphère

centrée sur l'entité émettrice, dont le rayon varie en fonction de la puissance de transmission. En réalité, le réseau 1 étant sensiblement plan, on peut assimiler la zone de transmission à un disque centré sur l'entité émettrice.

Toute entité du réseau est apte à transmettre directement un signal à une entité destinatrice dès lors que cette dernière se trouve au sein de la zone d'émission de l'entité émettrice (il s'agit alors d'émission directe).

Lorsqu'une entité destinatrice ne se trouve pas dans la zone de transmission de l'entité émettrice, le signal peut transiter par un nœud routeur ou par une cascade de nœuds routeurs situés chacun dans la zone de transmission du précédent, l'essentiel étant que le signal parvienne, in fine, à l'entité destinatrice (il s'agit alors d'émission indirecte).

On a également représenté sur les figures 1 et 2 plusieurs zones de transmission ZT1, ZT2, ZT3 de rayon croissant qui, centrées sur le téléphone 2 émetteur (respectivement sur l'entité émettrice e), correspondent à des puissances de transmission croissantes de son système de communication.

Par ailleurs, au téléphone 2 (respectivement à chaque entité émettrice e) correspond un ensemble d'entités voisines, qui sont les entités dont le téléphone est apte à recevoir un signal.

Ainsi, dans l'exemple représenté, l'ensemble des entités voisines du téléphone 2 comprend les téléphones 3 et 4, les ordinateurs 5, 6 et 7 et la télécommande 8 (respectivement, d'un point de vue topologique, l'ensemble des nœuds voisins du nœud e comprend les nœuds A à F).

Le réseau 1 illustré sur la figure 1 étant proposé à titre purement indicatif, on raisonne, dans ce qui suit, de manière essentiellement topologique.

Comme cela est visible sur la figure 2, la

première zone de transmission ZT1, de rayon le plus faible, englobe les entités A, B, et C qui forment ensemble un triangle dont l'entité émettrice e est exclue.

La zone de transmission ZT2, de rayon  
5 intermédiaire, englobe les entités A, B, C et D qui forment ensemble un quadrilatère dont l'entité e est également exclue.

Par contre, la zone de transmission ZT3, de rayon supérieur, englobe les entités A à F qui, ensemble,  
10 forment une constellation (en d'autres termes, un nuage de points) circonscrivant l'entité émettrice e, c'est-à-dire une constellation au sein de laquelle il est possible de tracer un polygone convexe (au moins un triangle) circonscrivant l'entité émettrice e.

15 Ainsi, au sein de la constellation ABCDEF, le triangle AEC circonscrit-il l'entité émettrice e.

Parmi l'ensemble des constellations ABC, ABCD, ABCDE et ABCDEF, seules les constellations ABCDE et ABCDEF circonscrivent l'entité émettrice e, la constellation  
20 ABCDE étant celle qui contient le plus petit nombre d'entités ou, autrement dit, la constellation ABCDE étant la constellation dont le cercle, centré sur l'entité émettrice, qui la contient strictement, présente le rayon le plus faible (il s'agit en l'occurrence du cercle C0 de  
25 centre e et de rayon [eE]).

Par convention, on dénomme constellation minimale associée à l'entité émettrice e une telle constellation.

D'une manière générale, on définit la constellation minimale associée à une entité émettrice e  
30 comme étant, parmi l'ensemble des constellations qui sont incluses dans un cercle centré sur l'entité émettrice e et qui circonscrivent cette dernière (c'est-à-dire dont trois au moins des entités forment un polygone convexe circonscrivant l'entité émettrice e), la constellation qui  
35 contient le plus petit nombre d'entités.

L'on souhaite s'assurer de la connexité permanente



9

d'un réseau composé d'une pluralité d'entités  $e_i$  (où  $i$  est un entier naturel), de manière à garantir la délivrance des signaux quelles que soient les entités émettrice  $e$  et réceptrice  $e_i$ . Concrètement, on souhaite réguler la puissance de transmission d'une entité émettrice donnée de telle manière que sa zone de transmission englobe au moins sa constellation minimale.

A cet effet, on définit un critère de connexité, applicable à chaque entité du réseau et dont nous verrons l'utilité par la suite.

Ce critère est défini comme suit :

Toute entité  $e_i$  vérifie le critère de connexité si le rayon de sa zone de transmission est ajusté de telle manière que cette zone de transmission englobe au plus juste la constellation minimale associée à l'entité  $e_i$ .

On décrit ci-après le procédé de contrôle de la puissance de transmission permettant, pour chaque entité, de procéder à cet ajustement avant l'émission par cette entité d'un message comprenant un certain nombre d'informations listées ci-dessous.

Bien que ce procédé soit applicable à chacune des entités  $e_i$  du réseau, par simple commodité, on décrit ce procédé pour une entité émettrice  $e$  donnée du réseau.

On commence par identifier le voisinage de l'entité émettrice  $e$ , c'est-à-dire l'ensemble des  $N$  entités  $e_i$  ( $i = 1$  à  $N$ ), dites voisines, dont l'entité émettrice  $e$  est apte à capter les messages.

A cet effet, on inscrit dans une première table  $L$ , pour chaque entité  $e_i$  ( $i = 1$  à  $N$ ) :

- son identifiant  $e_i$ ,
- la position  $pos_i$  de l'entité  $e_i$ , caractérisée par exemple par les coordonnées cartésiennes bidimensionnelles  $(x_i, y_i)$  de l'entité  $e_i$  dans un repère plan prédéterminé par rapport auquel sont positionnées toutes les entités du réseau, et
- la distance minimale d'émission de l'entité  $e_i$ ,

c'est-à-dire la distance séparant l'entité  $e_i$  de la plus lointaine des entités appartenant à sa constellation minimale associée.

Ces données, communiquées par chaque entité  $e_i$  et reçues par l'entité émettrice  $e$ , sont mémorisées au sein de celle-ci. Par exemple, la table  $L$  est stockée dans une mémoire dont est munie l'entité émettrice  $e$ .

Ces données relatives au voisinage de l'entité émettrice  $e$  sont inscrites dans la table  $L$  par ordre croissant de l'indice  $i$  en fonction de la distance séparant l'entité émettrice  $e$  des entités  $e_i$ . Autrement dit, on affecte l'indice  $i = 1$  à l'entité la plus proche de l'entité émettrice  $e$ , et  $i = N$  à l'entité la plus lointaine. Ce classement peut être effectué au moyen d'un simple comparateur, la distance séparant l'entité émettrice  $e$  de chacune des entités  $e_i$  voisines pouvant être déduite de leurs coordonnées respectives.

En effet, si les entités sont repérées par leurs coordonnées cartésiennes (les coordonnées de l'entité émettrice étant notées  $x, y$  et les coordonnées des entités voisines  $x_i, y_i, i = 1$  à  $N$ ), la distance  $d_i$  séparant l'entité émettrice de l'entité voisine  $e_i$  est fournie par la formule classique suivante :

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

Ainsi la table  $L$  se présente-elle sous la forme d'une matrice à 4 colonnes et  $N$  lignes :

$$L = \begin{bmatrix} e_1 & x_1 & y_1 & p_1 \\ e_2 & x_2 & y_2 & p_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_N & x_N & y_N & p_N \end{bmatrix}$$

L'étape suivante consiste à identifier, parmi les entités voisines  $e_i$ , les entités appartenant à la constellation minimale associée à l'entité émettrice  $e$ .

A cet effet, on constitue une deuxième table  $K$  (à

quatre colonnes et un nombre de lignes encore indéfini) à partir de la première table L, de la manière suivante.

On commence par affecter à l'indice  $i$  la valeur 1.

5 Les données concernant  $e_i$  sont transférées vers la table K, c'est-à-dire qu'elles sont inscrites dans la table K et supprimées de la table L.

On répète cette opération en incrémentant à chaque répétition l'indice  $i$  d'une unité, tant que les entités de la table K ainsi constituée ne permettent pas le respect  
10 du critère de connexité pour l'entité émettrice  $e$ .

On vérifie à chaque itération si le critère de connexité est satisfait. Dès lors que le critère de connexité est satisfait, on cesse l'incrémentation.

La table K contient alors les  $P$  entités  $e_i$  ( $i = 1$  à  
15  $P$ , où  $P \leq N$ ) qui forment la constellation minimale associée à l'entité émettrice  $e$ .

La table K permet le calcul de la distance minimale d'émission, notée  $p$ , de l'entité émettrice  $e$ . Cette distance minimale d'émission  $p$  est égale à la  
20 distance séparant l'entité  $e$  de l'entité la plus lointaine de la constellation minimale, c'est-à-dire, dans la table K, la plus lointaine de l'entité émettrice  $e$ . Compte tenu du classement déjà effectué, il s'agit de l'entité  $e_p$  située sur la dernière ligne de la table K.

25 Si elle n'a pas été mémorisée précédemment, on recalcule ensuite la distance  $d_p$  entre l'entité émettrice  $e$  et l'entité  $e_p$  la plus lointaine de l'entité émettrice  $e$ , dans la constellation minimale.

A titre d'exemple, dans le cas du réseau illustré  
30 sur la figure 2, si l'on considère comme entité émettrice l'entité  $e$ , sa distance minimale d'émission est la distance séparant l'entité  $e$  de l'entité  $E$ .

Il est à noter que si  $P = N$ , alors la table L est vide, et la table K est égale à la table L d'origine.

35 Concrètement, cela signifie que la constellation minimale de l'entité émettrice  $e$  comprend tout son

voisinage, c'est-à-dire la totalité des entités voisines  $e_i$ , pour  $i = 1$  à  $N$ .

Dans ce cas, l'étape suivante consiste à régler la puissance de transmission de l'entité  $e$  de telle sorte que  
5 le rayon  $R$  de sa zone de transmission  $ZT$  soit (en théorie) égal à sa distance minimale d'émission  $p$ . En pratique, la puissance de transmission est réglée à la valeur minimale qui permette toutefois à un message émis par l'entité émettrice d'atteindre toutes les entités de la  
10 constellation minimale associée à l'entité émettrice.

L'étape suivante consiste, pour l'entité  $e$ , à émettre un message comprenant ses données propres, à savoir son identifiant  $e$ , sa position  $(x, y)$  et sa distance minimale d'émission  $p$ .

15 Ces données sont reçues par les entités  $e_i$  incluses dans la zone de transmission  $ZT$ , en l'occurrence par les entités  $e_i$  constituant la constellation minimale de l'entité émettrice  $e$ .

Si  $P < N$ , alors la table  $L$  n'a pas été entièrement  
20 vidée lors de la constitution de la table  $K$ , et contient les données  $e_i$ ,  $x_i$ ,  $y_i$  et  $p_i$  relatives aux  $N-P$  entités restantes après la constitution de la table  $K$ , ces entités étant à la fois voisines de l'entité émettrice  $e$  et situées à l'extérieur de sa constellation minimale.

25 Parmi ces entités, l'on souhaite identifier, si elles existent, celles dont la constellation minimale contient l'entité émettrice  $e$ .

L'on souhaite en effet que les données (identifiant  $e$ , position  $(x, y)$ , distance minimale  
30 d'émission  $p$ ) de l'entité émettrice  $e$  parviennent à chacune de ces entités périphériques, puisque, comme nous venons de le voir, ces données sont indispensables au calcul de la distance minimale d'émission associée à chacune de ces entités périphériques.

35 Ainsi, l'étape suivante consiste à affecter à l'indice  $i$  la valeur  $P+1$ .

Si elle n'a pas été mémorisée précédemment, on recalcule la distance  $d_i$  entre l'entité émettrice  $e$  et chaque entité  $e_i$  restant dans la table  $L$  (c'est-à-dire chaque entité située à l'extérieur de la constellation minimale).

Puis on compare cette distance  $d_i$  à la distance minimale d'émission  $p_i$  de l'entité  $e_i$  correspondante. En d'autres termes, on vérifie si l'entité émettrice  $e$  est contenue dans la constellation minimale associée à cette entité  $e_i$ .

Si  $d_i > p_i$ , alors l'entité émettrice  $e$  est située à l'extérieur de la constellation minimale associée à l'entité  $e_i$ . Il n'est donc pas nécessaire que les données relatives à l'entité émettrice  $e$  parviennent à l'entité  $e_i$ .

Tant que  $i$  est inférieur à  $N$ , on incrémente donc l'indice  $i$  d'une unité et on répète cette opération pour l'entité suivante.

Si au contraire  $d_i \leq p_i$ , alors l'entité émettrice est effectivement comprise dans la constellation minimale associée à l'entité  $e_i$ . Il faudra donc veiller à ce que le signal émis par l'entité émettrice  $e$  parvienne (de manière directe) à l'entité  $e_i$ .

On inscrit donc les données relatives à l'entité  $e_i$ , à savoir l'identifiant  $e_i$ , sa position  $x_i$ ,  $y_i$  et sa distance minimale d'émission  $p_i$  dans une troisième table  $J$ , qui, comme la table  $K$ , est une matrice à quatre colonnes et un nombre de lignes encore indéfini.

Tant que  $i$  est strictement inférieur à  $N$ , on incrémente l'indice  $i$  d'une unité et on répète les opérations qui viennent d'être décrites, pour les entités suivantes.

Ces opérations sont stoppées dès lors que  $i = N$ , c'est-à-dire lorsque toutes les distances séparant l'entité émettrice  $e$  des entités  $e_i$  ( $i = P+1$  à  $N$ ) ont été calculées et comparées aux distances minimales d'émission  $p_i$  associées aux entités  $e_i$ .

Deux hypothèses se présentent alors, selon que la troisième table J est vide ou qu'elle contient au moins une entité.

5        Si la troisième table J est vide, alors il n'existe aucune entité périphérique. En d'autres termes, il n'existe, dans le voisinage de l'entité émettrice e, hors de sa constellation minimale associée, aucune entité dont la propre constellation minimale contienne l'entité émettrice e.

10        Dans ce cas, l'étape suivante consiste à régler la puissance de transmission de l'entité e de telle sorte que le rayon R de sa zone de transmission ZT soit (en théorie) égal à sa distance minimale d'émission p. En pratique, la puissance de transmission est réglée à la valeur minimale  
15        qui permette à un message émis par l'entité émettrice e d'atteindre toutes les entités de la constellation minimale associée à l'entité émettrice.

20        L'étape suivante consiste, pour l'entité e, à émettre ses données, à savoir son identifiant e, sa position x, y et sa distance minimale d'émission p.

Ces données sont reçues par les entités  $e_i$  incluses dans la zone de transmission ZT, en l'occurrence les entités  $e_i$  constituant la constellation minimale de l'entité émettrice e.

25        Si la troisième table J n'est pas vide, alors les étapes suivantes consistent à identifier, parmi les entités  $e_i$  périphériques, répertoriées dans la troisième table J, l'entité  $e_j$  la plus lointaine de l'entité émettrice e.

30        Compte tenu du classement déjà effectué, il s'agit de l'entité  $e_j$  située sur la dernière ligne de la troisième table J, puis à (re)calculer la distance  $d_j$  séparant l'entité émettrice e de cette entité la plus lointaine  $e_j$ , si cette distance  $d_j$  n'a pas été mémorisée avant ou lors de  
35        la constitution de la première table L.

L'étape suivante consiste à régler la puissance de



transmission de l'entité  $e$  de telle sorte que le rayon  $R$  de sa zone de transmission  $ZT$  soit (en théorie) égal à la distance  $d_j$ .

En pratique, la puissance de transmission est réglée à la valeur minimale qui permette à un message émis par l'entité émettrice  $e$  d'atteindre toutes les entités périphériques identifiées pour l'entité émettrice  $e$ .

L'étape suivante consiste alors, pour l'entité  $e$ , à émettre ses données, à savoir son identifiant  $e$ , sa position  $x$ ,  $y$  et sa distance minimale d'émission  $p$ .

Ces données sont reçues par les entités  $e_i$  incluses dans la zone de transmission  $ZT$ , y compris les entités périphériques  $e_i$  qui, en dehors de la constellation minimale, ont besoin des données relatives à l'entité émettrice  $e$  pour effectuer leur propre calcul de leur distance minimale d'émission  $p_i$ , laquelle est calculée suivant le mode opératoire décrit ci-dessus, le procédé qui vient d'être décrit étant en effet applicable, comme nous l'avons déjà indiqué, à chaque entité  $e_i$  du réseau.

Une fois que l'entité émettrice  $e$  a émis ses données, les tables non vides sont vidées en vue de la répétition ultérieure du procédé.

Bien entendu, la périodicité de la répétition du procédé peut être réglée pour chaque entité, notamment en fonction de sa mobilité propre, ou plus généralement pour l'ensemble du réseau.

Concrètement, dans un réseau géographiquement restreint comprenant un grand nombre d'entités mobiles (par exemple des téléphones mobiles) par rapport au nombre total d'entités, la périodicité des entités mobiles peut être réglée à quelques secondes.

Par contre, dans un réseau géographiquement étendu et ne comprenant qu'un petit nombre d'entités mobiles, cette périodicité peut atteindre plusieurs dizaines de secondes, voire dépasser la minute.

Le procédé qui vient d'être décrit, qui est

16  
appliqué de manière simultanée et en parallèle de ce  
procédé à toutes les entités du réseau permet d'assurer la  
connexité de celui-ci, car la puissance de transmission de  
chaque entité émettrice est ajustée de manière à englober  
5 au moins la constellation minimale associée à cette entité  
(ce qui signifie que l'on est assuré que les entités les  
plus proches entourant l'entité émettrice pourront  
recevoir, et éventuellement relayer, le signal en  
provenance de l'entité émettrice), et, lorsqu'elles  
10 existent, les entités périphériques dont le signal en  
provenance de l'entité émettrice est nécessaire au  
fonctionnement du procédé.

Il peut arriver qu'une entité émettrice e se  
situe, au moins momentanément, à la lisière du réseau,  
15 c'est-à-dire qu'aucune constellation minimale ne peut,  
topologiquement, lui être associée.

Dans ce cas, afin d'assurer le fonctionnement du  
réseau, la puissance de transmission de cette entité e est  
réglée à son maximum avant l'émission de ses données, la  
20 distance minimale d'émission p étant ajustée pour être  
égale au rayon de la zone de transmission correspondante.

Bien entendu, toute unité de communication sans  
fil (tel qu'un téléphone mobile ou un ordinateur) destinée  
à mettre en œuvre le procédé qui vient d'être décrit sera  
25 munie de moyens prévus à cet effet, propres à mettre en  
œuvre chacune des étapes du procédé.

Concrètement, ces moyens peuvent se présenter sous  
la forme d'un programme informatique inscrit dans un  
processeur équipant cette unité.

30 On donne ci-après deux exemples d'application du  
procédé qui vient d'être décrit à un même réseau, illustré  
sur la figure 4, comprenant 20 entités référencées de A à  
T et positionnées dans un repère XY, orthogonal, plan.

#### Exemple 1

35 Dans cet exemple, on choisit comme entité  
émettrice l'entité A, dont on suppose qu'elle est sur le

point de transmettre ses données.

Comme cela est visible sur la figure 4, à l'entité A correspond un voisinage  $V_A$  qui inclut les entités B, C, D, E, F, G, H, O, P, T.

5 On donne ci-après, pour chaque entité A, B, C, D, E, F, G, H, O, P, T, sous forme d'un ensemble de trois valeurs (exprimées par exemple en mètres), ses coordonnées dans le repère XY (les deux premières valeurs), ainsi que sa distance minimale d'émission (la troisième valeur) :

10	A (47, 58, 18)
	B (64, 65, 18)
	C (43, 70, 22)
	D (37, 60, 22)
	E (41, 45, 15)
15	F (64, 44, 20)
	G (72, 59, 28)
	H (59, 84, 22)
	O (37, 85, 14)
	P (22, 45, 19)
20	T (40, 31, 20)

L'entité émettrice A reçoit les données des entités B, C, D, E, F, G, H, O, P, T de son voisinage  $V_A$ .

On commence par affecter à chacune des entités D, C, E, B, F, H, O, P, T, G (classées par ordre  
25 d'éloignement de l'entité émettrice A) les indices 1 à 10.

Puis on constitue la table L à partir des données reçues du voisinage de l'entité A. Il résulte des valeurs données ci-dessus que la table L s'établit comme suit :

$$L = \begin{bmatrix} e_1 & 37 & 60 & 22 \\ e_2 & 43 & 70 & 22 \\ e_3 & 41 & 45 & 15 \\ e_4 & 64 & 65 & 18 \\ e_5 & 64 & 44 & 20 \\ e_6 & 59 & 84 & 22 \\ e_7 & 37 & 85 & 14 \\ e_8 & 22 & 45 & 19 \\ e_9 & 40 & 31 & 20 \\ e_{10} & 72 & 59 & 27 \end{bmatrix}$$

A partir de la table L, on construit la table K, afin de déterminer la distance minimale d'émission p de l'entité A.

5 Des itérations successives montrent (ce qui apparaît géométriquement sur la figure 4) que la constellation minimale de l'entité A est constituée des entités  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  et  $e_4$ , c'est-à-dire des entités B, C, D, E.

10 La table K s'établit donc comme suit :

$$K = \begin{bmatrix} e_1 & 37 & 60 & 22 \\ e_2 & 43 & 70 & 22 \\ e_3 & 41 & 45 & 15 \\ e_4 & 64 & 65 & 18 \end{bmatrix}$$

tandis que la table L s'établit comme suit :

$$L = \begin{bmatrix} e_5 & 64 & 44 & 20 \\ e_6 & 59 & 84 & 22 \\ e_7 & 37 & 85 & 14 \\ e_8 & 22 & 45 & 19 \\ e_9 & 40 & 31 & 20 \\ e_{10} & 72 & 59 & 27 \end{bmatrix}$$

15 On déduit de la table K que l'entité la plus lointaine de l'entité émettrice A est l'entité  $e_4$  (B), la distance  $d_4$  séparant les entités A et B étant égale à 18 m.

Il en résulte que la distance minimale d'émission p de l'entité A, égale à  $d_4$ , est de 18 m.

On identifie ensuite les éventuelles entités

périphériques.

Des calculs successifs fournissent les distances séparant l'entité A des entités  $e_5$  (F) à  $e_{10}$  (T), ces distances étant systématiquement comparées aux valeurs  $p_5$  à  $p_{10}$  des distances minimales d'émission des entités correspondantes. Les valeurs  $d_5$  à  $d_{10}$  sont les suivantes :

10  $d_5 = 22$  m  
 $d_6 = 28$  m  
 $d_7 = 28$  m  
 $d_8 = 29$  m  
 $d_9 = 29$  m  
 $d_{10} = 30$  m

Or il ressort de la table L que les valeurs des distances minimales d'émission  $p_5$  à  $p_{10}$  sont les suivantes :

15  $p_5 = 20$  m  
 $p_6 = 22$  m  
 $p_7 = 24$  m  
 $p_8 = 19$  m  
20  $p_9 = 20$  m  
 $p_{10} = 27$  m

Ainsi, quel que soit  $i$  ( $i = 5$  à  $10$ ),  $d_i$  est strictement supérieur à  $p_i$ , ce qui signifie qu'aucune des constellations minimales des entités  $e_5$  (F) à  $e_{10}$  (G) ne contient l'entité émettrice A. Il n'est donc constitué aucune table J.

Aussi l'étape suivante consiste-t-elle à régler la puissance de transmission de l'entité A de manière que le rayon de sa zone de transmission  $ZT_A$  soit égal à sa distance minimale d'émission, c'est-à-dire à la distance  $d_4$ , séparant les entités A et B.

L'étape suivante consiste, pour l'entité A, à émettre ses données, à savoir son identifiant A, sa position, repérée par les valeurs cartésiennes 47 et 58, ainsi que sa distance minimale d'émission, dont la valeur est égale à 18.

Ces données sont reçues par les entités incluses dans la zone de transmission de l'entité A, à savoir les entités B, C, D et E.

Exemple 2

5 Dans cet exemple, on choisit comme entité émettrice l'entité F, dont on suppose qu'elle est sur le point de transmettre ses données.

Comme cela est visible sur la figure 4, à l'entité F correspond un voisinage  $V_F$  qui inclut les entités A, B, 10 C, D, E, G, L, M, N, T.

On donne ci-après, pour chaque entité A, B, C, D, E, F, G, L, M, N, T, sous forme d'un ensemble de trois valeurs (exprimées par exemple en mètres), ses coordonnées dans le repère XY (les deux premières valeurs), ainsi que 15 sa distance minimale d'émission (la troisième valeur) :

	A (47, 58, 18)
	B (64, 65, 18)
	C (43, 70, 22)
	D (37, 60, 22)
20	E (41, 45, 15)
	F (64, 44, 20)
	G (72, 59, 28)
	L (59, 22, 33)
	M (89, 40, 38)
25	N (77, 76, 22)
	T (40, 31, 20)

L'entité émettrice F reçoit les données des entités A, B, C, D, E, G, L, M, N, T, situées dans son voisinage  $V_F$ .

30 On commence par affecter à chacune des entités G, L, B, A, E, M, T, D, C, N (ordonnées suivant leur éloignement de l'entité émettrice F), les indices 1 à 10.

Puis on constitue la table L à partir des données reçues du voisinage de l'entité F. Il résulte des valeurs 35 données ci-dessus que la table L s'établit comme suit :



$$L = \begin{bmatrix} e_1 & 72 & 59 & 28 \\ e_2 & 59 & 22 & 33 \\ e_3 & 64 & 65 & 18 \\ e_4 & 47 & 58 & 18 \\ e_5 & 41 & 45 & 15 \\ e_6 & 89 & 40 & 38 \\ e_7 & 40 & 31 & 20 \\ e_8 & 37 & 60 & 22 \\ e_9 & 43 & 70 & 22 \\ e_{10} & 77 & 76 & 22 \end{bmatrix}$$

A partir de la table L, on construit la table K, afin de déterminer la distance minimale d'émission p de l'entité F.

5 Des itérations successives montrent (ce qui apparaît géométriquement sur la figure 4) que la constellation minimale associée à l'entité A est constituée des entités  $e_1$ ,  $e_2$  et  $e_3$ , c'est-à-dire G, L et B (figure 4).

10 La table K s'établit donc comme suit, les indices étant réaffectés aux entités B, G et L à partir de 1 :

$$K = \begin{bmatrix} e_1 & 72 & 59 & 28 \\ e_2 & 29 & 22 & 33 \\ e_3 & 64 & 65 & 18 \end{bmatrix}$$

tandis que la table L s'établit comme suit :

$$L = \begin{bmatrix} e_4 & 47 & 58 & 18 \\ e_5 & 41 & 45 & 15 \\ e_6 & 89 & 40 & 38 \\ e_7 & 40 & 31 & 20 \\ e_8 & 37 & 60 & 22 \\ e_9 & 43 & 70 & 22 \\ e_{10} & 77 & 76 & 22 \end{bmatrix}$$

15 Il résulte de la table K que l'entité la plus lointaine de l'entité émettrice F est l'entité  $e_3$  (B), la distance  $d_3$  séparant les entités F et B étant égale à 20 m.

On en déduit que la distance minimale d'émission p de l'entité F, égale à  $d_3$ , est de 20 m.

On identifie ensuite les éventuelles entités périphériques.

Des calculs successifs fournissent les distances séparant l'entité F des entités, identifiées dans la table L ci-dessus  $e_4$  (A) à  $e_{10}$  (N), ces distances étant systématiquement comparées aux valeurs  $p_4$  à  $p_{10}$  des distances minimales d'émission des entités correspondantes. Les valeurs  $d_1$  à  $d_7$  sont les suivantes :

	$d_4 = 22$ m
10	$d_5 = 23$ m
	$d_6 = 25$ m
	$d_7 = 23$ m
	$d_8 = 31$ m
	$d_9 = 33$ m
15	$d_{10} = 34$ m

Il ressort de la table L que les valeurs des distances minimales d'émission  $p_1$  à  $p_7$  sont les suivantes :

	$P_4 = 18$ m
	$P_5 = 15$ m
20	$P_6 = 38$ m
	$p_7 = 20$ m
	$p_8 = 22$ m
	$p_9 = 22$ m
	$p_{10} = 22$ m

25 Comme on peut le constater,  $d_6$  est inférieur à  $p_6$ , ce qui signifie que l'entité émettrice F est contenue dans la constellation minimale de l'entité  $e_6$  (M).

Par conséquent, l'entité  $e_5$  est inscrite dans la matrice J associée à l'entité F.

30 Cette propriété ne se vérifiant pour aucune autre entité inscrite dans la matrice L, la matrice J ne comprend que les données associées à l'entité M.

Par conséquent, la puissance de transmission de l'entité F est réglée de manière que le rayon R de sa zone de transmission  $ZT_F$  soit égal à la distance  $d_6$ , soit 25 m.

L'étape suivante consiste, pour l'entité F, à

émettre ses données, à savoir son identifiant F, sa position (les valeurs 64 et 44), ainsi que sa distance minimale d'émission, égale à 20.

----- Ces données sont reçues par les entités incluses  
5 dans la zone de transmission  $ZT_F$  de l'entité F, à savoir les entités A, B, E, G, L et M.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de régulation de la puissance de transmission d'une entité émettrice (e) sans fil dans un réseau d'entités communicantes sans fil, comportant l'étape consistant à identifier les entités voisines ( $e_i$ ) de l'entité émettrice (e), c'est-à-dire les entités du réseau, distinctes de l'entité émettrice, dont l'entité émettrice (e) est apte à recevoir les messages, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes consistant à :

- parmi les entités voisines ( $e_i$ ), identifier une constellation minimale associée à l'entité émettrice (e), c'est-à-dire, quantitativement, le plus petit ensemble d'entités voisines ( $e_i$ ) de l'entité émettrice (e) incluses dans un cercle centré sur celle-ci, et dont trois au moins d'entre elles ( $e_i$ ) forment un polygone convexe circonscrivant l'entité émettrice (e) ;
- parmi les entités voisines ( $e_i$ ) n'appartenant pas à la constellation minimale, identifier le cas échéant les entités, dites périphériques, dont la propre constellation minimale inclut l'entité émettrice (e) ;
- régler la puissance de transmission de l'entité émettrice (e) à une valeur minimale permettant aux messages émis par l'entité émettrice (e) d'atteindre à la fois les entités de la constellation minimale associée à l'entité émettrice (e) et les entités périphériques identifiées.

2. Procédé selon la revendication 1, comportant en outre une étape supplémentaire selon laquelle, après avoir réglé sa puissance de transmission, l'entité émettrice communique à chacune des entités voisines ( $e_i$ ) un message comprenant :

- un identifiant (e) associé à ladite entité émettrice (e),

- la position  $(x, y)$  de l'entité émettrice  $(e)$  et
- la distance minimale d'émission  $(p)$  de l'entité émettrice  $(e)$ , c'est-à-dire le rayon du plus petit cercle, centré sur l'entité émettrice  $(e)$ , incluant la constellation minimale associée à l'entité émettrice  $(e)$ .

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'identification des entités voisines  $(e_i)$  consiste à mémoriser dans une première table  $(L)$ , pour chaque entité voisine  $(e_i)$  :

- un identifiant  $(e_i)$  associé à cette entité voisine  $(e_i)$ ,
- la position  $(x_i, y_i)$  de cette entité voisine  $(e_i)$  ainsi que
- la distance minimale d'émission  $(p_i)$  de cette entité voisine  $(e_i)$ , c'est-à-dire le rayon du plus petit cercle, centré sur cette entité voisine  $(e_i)$ , incluant la constellation minimale associée à cette entité voisine  $(e_i)$ .

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel chaque entité voisine  $(e_i)$  communique à l'entité émettrice  $(e)$  un message comprenant :

- l'identifiant associé à l'entité voisine  $(e_i)$ ,
- la position  $(x_i, y_i)$  de l'entité voisine  $(e_i)$  et
- la distance minimale d'émission  $(p_i)$  de l'entité voisine  $(e_i)$ .

5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel l'identification des entités appartenant à la constellation minimale associée à l'entité émettrice  $(e)$  comprend une étape consistant à mémoriser dans une deuxième table  $(K)$ , pour chaque entité voisine  $(e_i)$  appartenant à la constellation minimale :

- l'identifiant associé à cette entité voisine  $(e_i)$ ,
- la position  $(x_i, y_i)$  de cette entité voisine  $(e_i)$  et

- la distance minimale d'émission ( $p_i$ ) de cette entité voisine ( $e_i$ ).

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel l'identification des entités périphériques comprend une étape consistant à mémoriser dans une troisième table (J), pour chacune de ces entités :

- l'identifiant associé à cette entité périphérique,
- la position de cette entité périphérique et
- la distance minimale d'émission de cette entité périphérique.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel le réglage de la puissance de transmission comprend une étape consistant à sélectionner soit la plus grande des distances séparant l'entité émettrice ( $e$ ) des entités de la troisième table (J) soit, lorsque cette troisième table (J) est vide, la plus grande des distances séparant l'entité émettrice ( $e$ ) des entités de la deuxième table (K), le réglage de la puissance étant effectué de manière à adapter la portée de la transmission à la distance sélectionnée.

8. Procédé selon la revendication 7, comportant en outre les étapes supplémentaires selon lesquelles, après avoir réglé sa puissance de transmission :

- l'entité émettrice ( $e$ ) communique à chacune des entités voisines ( $e_i$ ) un message comprenant son identifiant ( $e$ ), sa position ( $x, y$ ) et sa distance minimale d'émission ( $p$ ),
- les tables (J, K, L) sont vidées.

9. Unité de communication sans fil destinée à former une entité émettrice ( $e$ ) d'un réseau d'entités communicantes sans fil, comprenant :

- des moyens pour identifier des entités voisines ( $e_i$ ) de ladite unité, c'est-à-dire les entités du réseau, distinctes de ladite unité de communication, dont cette dernière est apte à recevoir les messages ;



- des moyens pour identifier une constellation minimale associée à ladite unité de communication, c'est-à-dire, quantitativement, le plus petit ensemble d'entités voisines ( $e_i$ ) de ladite unité de communication incluses dans un cercle centré sur celle-ci, et dont trois au moins d'entre elles ( $e_i$ ) forment un polygone convexe circonscrivant ladite unité de communication ;

- des moyens pour identifier le cas échéant, parmi les entités voisines ( $e_i$ ) n'appartenant pas à la constellation minimale, les entités, dites périphériques, dont la propre constellation minimale inclut ladite unité ; et

- des moyens de réglage de la puissance de transmission de ladite unité de communication à une valeur minimale permettant aux messages émis par l'unité de communication d'atteindre à la fois les entités de la constellation minimale associée à ladite unité de communication et les entités périphériques identifiées.

10. Réseau (1) d'entités communicantes ( $e_i$ ) sans fil, dans lequel chaque entité ( $e$ ) comprend :

- des moyens pour identifier des entités voisines ( $e_i$ ) de ladite entité ( $e$ ), c'est-à-dire les entités du réseau, distinctes de ladite entité ( $e$ ), dont cette dernière est apte à recevoir les messages ;

- des moyens pour identifier une constellation minimale associée à ladite entité ( $e$ ), c'est-à-dire, quantitativement, le plus petit ensemble d'entités voisines ( $e_i$ ) de ladite entité ( $e$ ) incluses dans un cercle centré sur celle-ci, et dont trois au moins d'entre elles ( $e_i$ ) forment un polygone convexe circonscrivant ladite entité ( $e$ ) ;

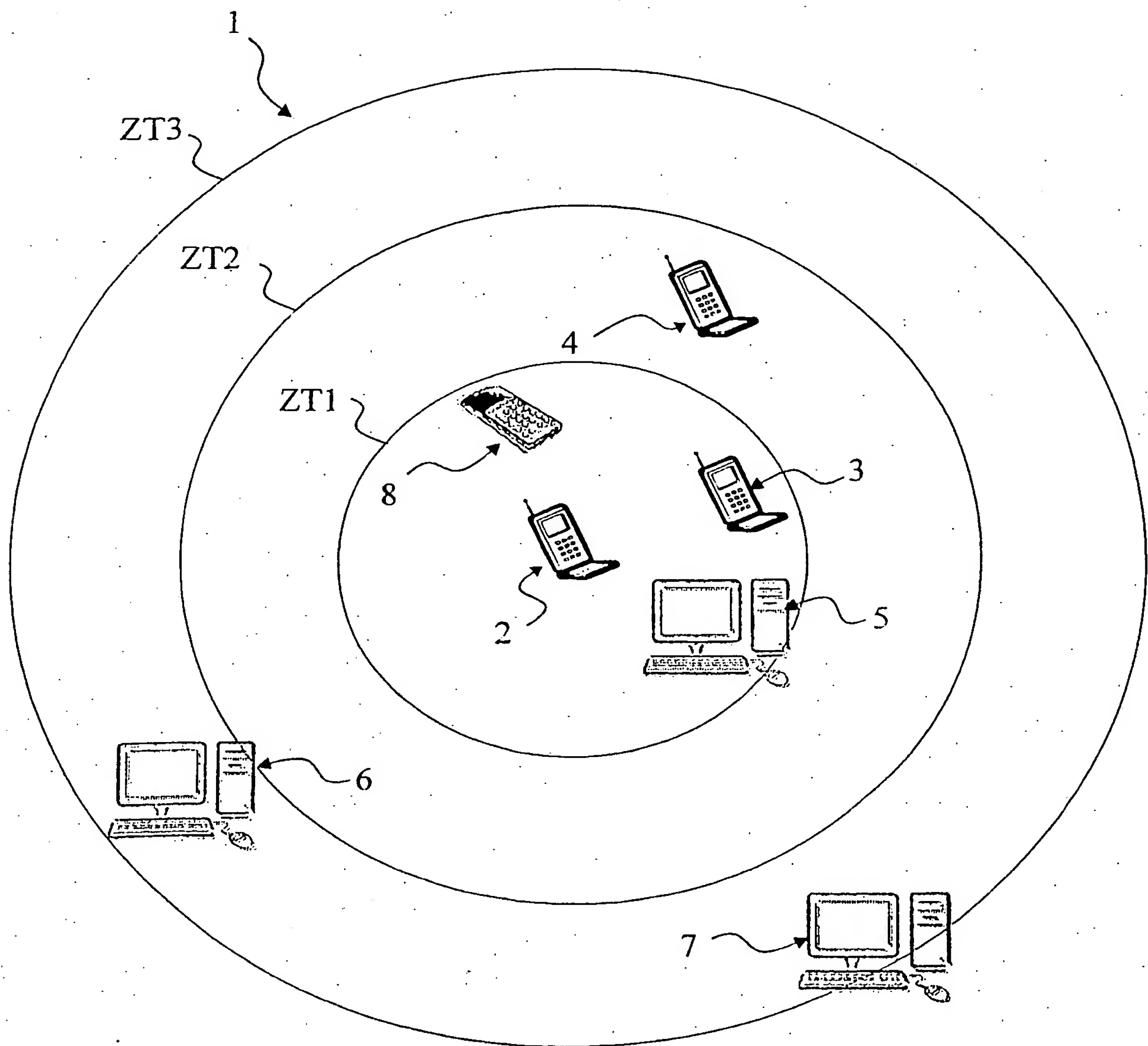
- des moyens pour identifier le cas échéant, parmi les entités voisines ( $e_i$ ) n'appartenant pas à la constellation minimale, les entités, dites périphériques,

dont la propre constellation minimale inclut ladite entité (e) ; et

- des moyens de réglage de la puissance de transmission de ladite entité (e) à une valeur minimale permettant aux messages émis par cette entité (e) d'atteindre à la fois les entités de la entité (e) et les entités périphériques identifiées.

11. Produit programme d'ordinateur, comprenant des instructions pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 8, lors d'une exécution par des moyens de traitement intégrés à l'entité émettrice.

1/4

FIG. 1

2/4

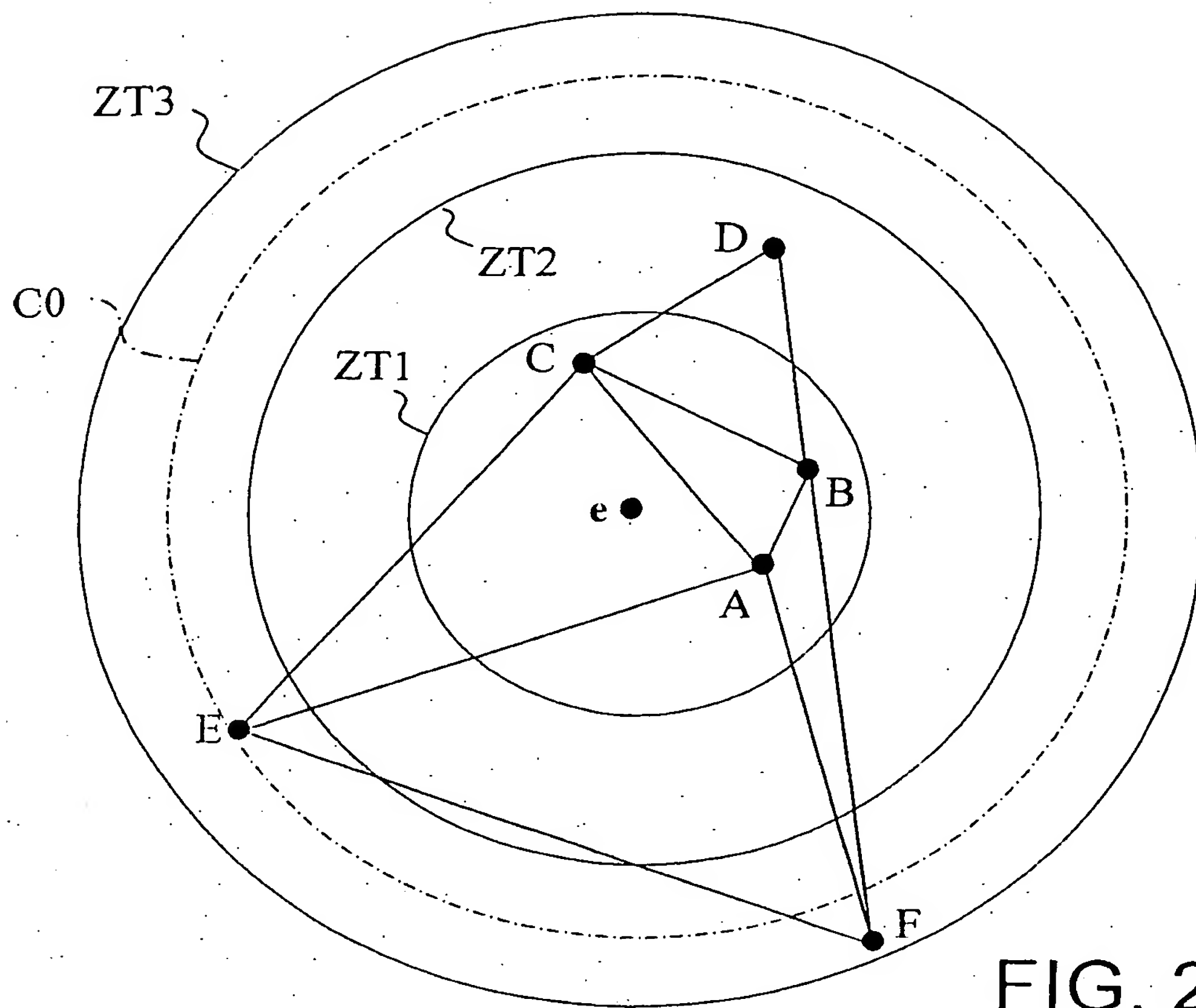


FIG. 2

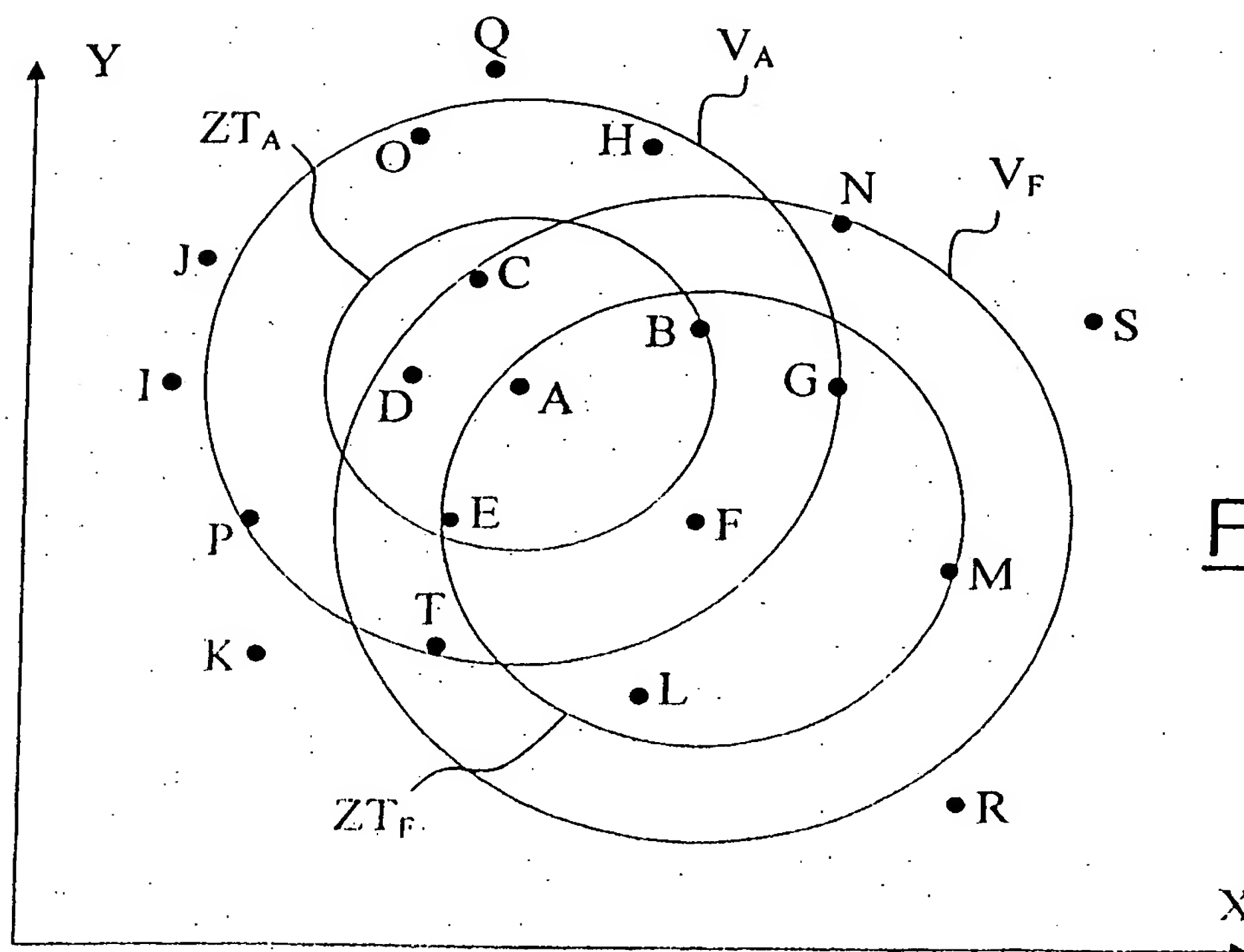
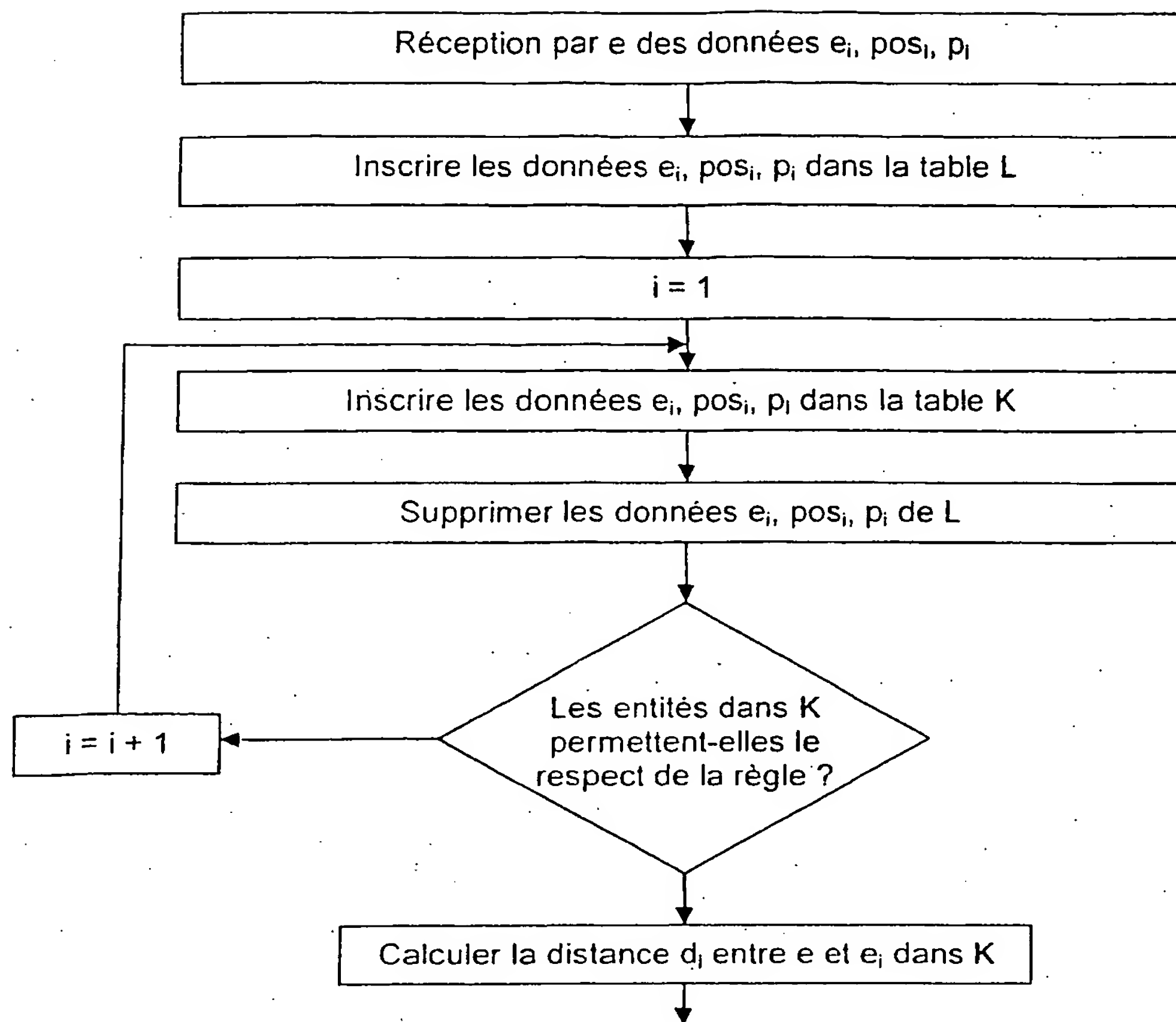
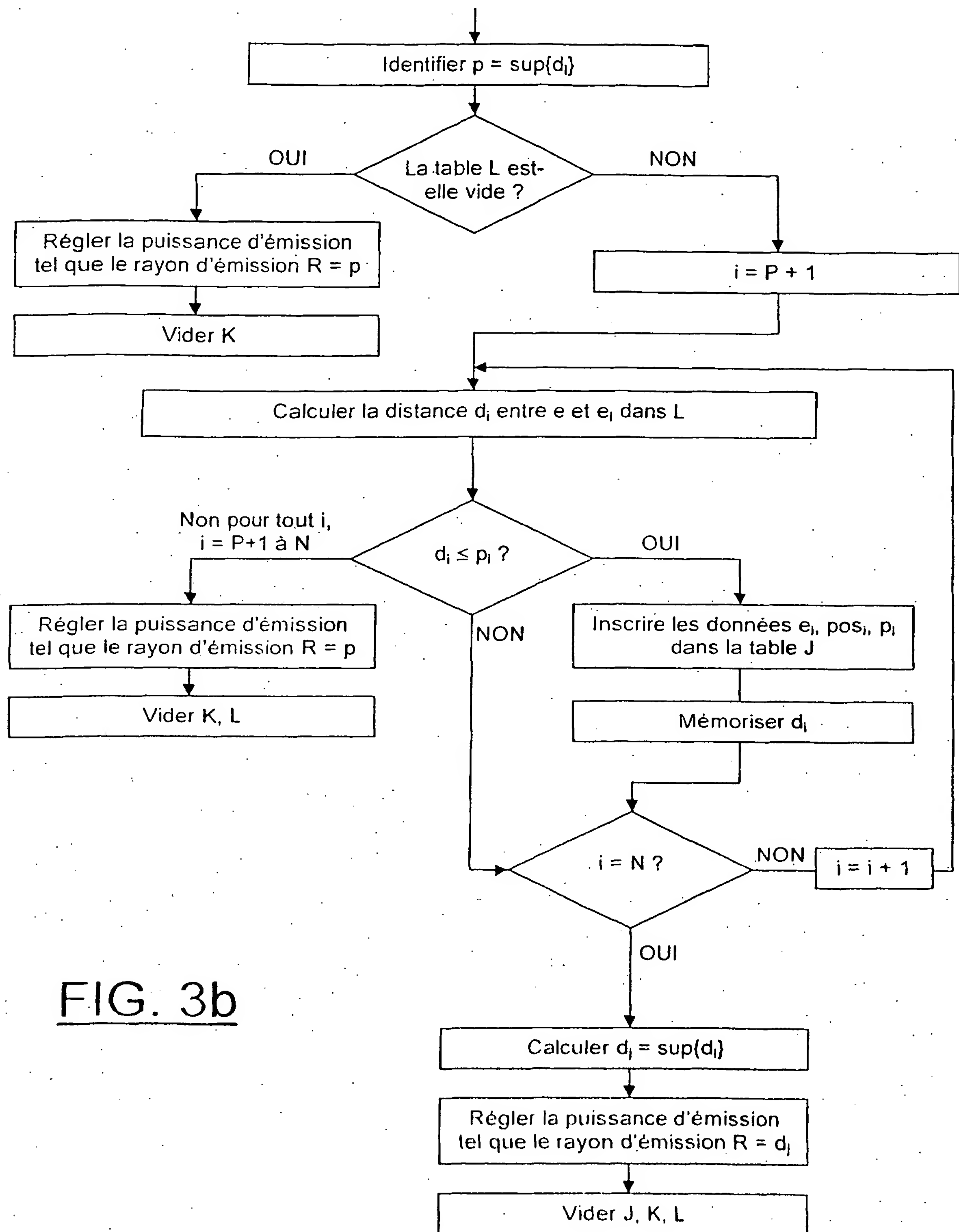


FIG. 4

3/4FIG. 3a

4/4FIG. 3b